



(22) Date de dépôt/Filing Date: 2007/01/26

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2007/07/27

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2014/01/14

(30) Priorité/Priority: 2006/01/27 (FR06 50292)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B22C 9/24* (2006.01),
B22D 23/00 (2006.01), *F01D 5/18* (2006.01)

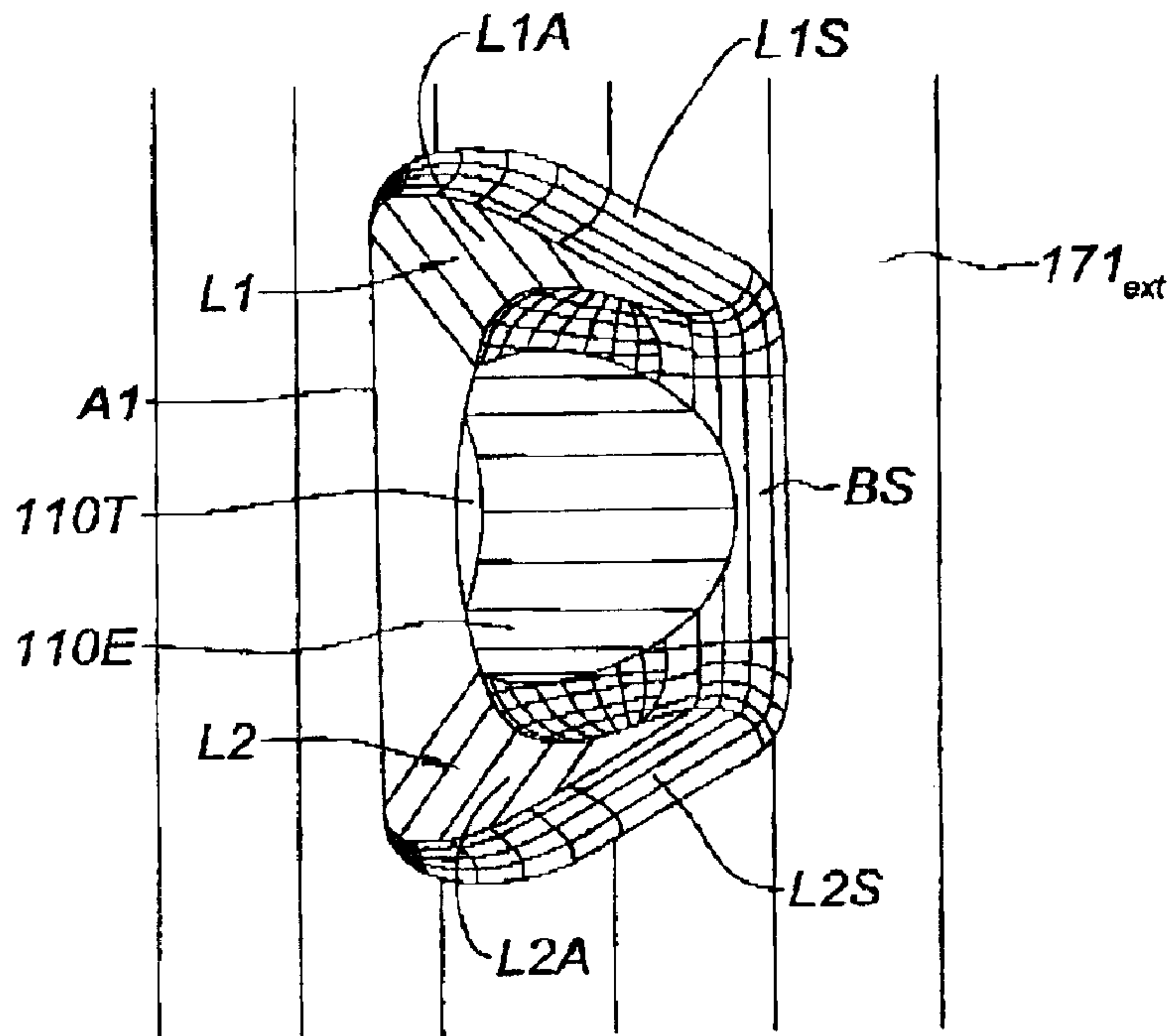
(72) Inventeurs/Inventors:
AL AUX, THIERRY, FR;
HUCHIN, PATRICK, FR;
ROSSET, PATRICE, FR;
SOULALIOUX, BORIS, FR

(73) Propriétaire/Owner:
SNECMA, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCEDE DE FABRICATION DE PIECE DE TURBOMACHINE COMPORTANT DES ORIFICES
D'EVACUATION D'AIR DE REFROIDISSEMENT

(54) Title: MANUFACTURING PROCESS FOR A TURBINE ENGINE PART THAT INCLUDES COOLING AIR EXHAUST
ORIFICES



(57) Abrégé/Abstract:

La présente invention porte sur un procédé de réalisation d'orifices d'évacuation de fluide de refroidissement dans la paroi (171) d'une pièce fabriquée selon la technique de la fonderie à la cire perdue avec formation d'un modèle dans un moule à cire, les orifices comportant une première portion (110 E) débouchant à la surface externe (171 ext) de la paroi. Le procédé est caractérisé par le fait qu'il consiste à ménager dans le modèle en cire des cavités correspondant aux premières portions (110 E) desdits orifices de la pièce. On permet ainsi la réalisation d'orifices d'évacuation d'air de refroidissement sans arêtes vives.

Abrégé

Procédé de fabrication de pièce de turbomachine comportant des orifices d'évacuation d'air de refroidissement.

5

La présente invention porte sur un procédé de réalisation d'orifices d'évacuation de fluide de refroidissement dans la paroi (171) d'une pièce fabriquée selon la technique de la fonderie à la cire perdue avec formation
10 d'un modèle dans un moule à cire, les orifices comportant une première portion (110 E) débouchant à la surface externe (171ext) de la paroi. Le procédé est caractérisé par le fait qu'il consiste à ménager dans le modèle en cire des cavités correspondant aux premières portions (110 E) desdits orifices de la pièce.

15

On permet ainsi la réalisation d'orifices d'évacuation d'air de refroidissement sans arêtes vives.

Figure pour l'abrégé : figure 7

La présente invention concerne le refroidissement de pièces de turbomachines par film d'air.

5 Pour accroître les performances d'un moteur à turbine à gaz, on est amené à augmenter la température des gaz en sortie de la chambre de combustion. Les pièces du moteur balayées par ces gaz sont alors soumises à des contraintes thermomécaniques élevées. On les protège en faisant circuler de l'air de refroidissement prélevé au compresseur dans des canaux disposés
10 sous la paroi et en évacuant celui-ci dans la veine gazeuse par des orifices de faible diamètre ménagés de manière à former une pellicule de gaz protectrice entre la paroi et le flux de gaz chaud. Les pièces concernées par ce traitement sont essentiellement les secteurs de distributeur, constitués d'une ou plusieurs pales radiales entre deux plates-formes en secteurs
15 d'anneau délimitant la veine gazeuse, ainsi que les aubes mobiles des premiers étages de turbine. La tenue mécanique et la durée de vie des pièces s'en trouvent augmentées par ce moyen.

Les orifices sont généralement des perçages de forme cylindrique, pratiqués dans des zones appropriées de la paroi à protéger. Afin
20 d'améliorer la formation de la pellicule d'air le long de la paroi, on donne à ces perçages une forme évasée au niveau de sa surface. Ces trous sont donc constitués de deux parties distinctes : une partie cylindrique calibrant le flux d'air et une partie conformée de manière à diffuser et orienter le flux
25 d'air afin de favoriser l'écoulement dans la zone de formation de la pellicule de refroidissement. Des exemples de tels orifices sont illustrés dans les brevets US6183199, EP 228338 et US 4197443.

Une méthode de fabrication connue consiste à réaliser ces perçages en deux
30 temps ; on commence par usiner la partie évasée de l'orifice par électroérosion, technique désignée aussi par le sigle EDM pour electrodischarge machining, puis on en perce le fond au moyen d'un faisceau laser, par exemple, pour réaliser un canal cylindrique.

35 Selon la technique EDM, une électrode est placée à distance de la surface à éroder et des décharges électriques sont produites entre celle-ci et la pièce. Ces décharges entraînent des particules de matière et érodent progressivement la surface de la pièce. La forme de la cavité obtenue dépend de la géométrie de l'électrode qui peut être tronconique, par
40 exemple à section rectangulaire, ou plus complexe avec des portions

arrondies comme on le voit dans les documents US 6.183.199 ou EP228.338. La deuxième partie, calibrée, est réalisée soit avec la même électrode soit au moyen d'un faisceau laser.

5 On rencontre avec cette technique les problèmes suivants.

10 L'électrode, quelle que soit sa forme, même si elle permet de réaliser à l'intérieur de la cavité des portions de paroi arrondies, ne peut empêcher que des arêtes vives subsistent. Ces arêtes sont le siège de concentrations de contraintes et présentent des risques d'amorces de criques.

15 Pour des raisons principalement économiques, on réalise les orifices en série au moyen d'électrodes découpées dans une plaque et qui sont donc disposées en rangée. Une telle pratique ne permet pas une optimisation individuelle de la géométrie des orifices en fonction du profil local les environnant.

20 Il n'est pas possible de réaliser ce type d'orifice dans les zones d'accès réduit. C'est le cas notamment lorsqu'il s'agit de réaliser des perçages le long des pales d'un secteur de distributeur bipale dans le canal inter aubes. Comme dans cette zone la forme évasée des orifices est indispensable, il n'est alors pas possible de réaliser des secteurs de distributeur bipales par fonderie en une seule pièce. On fabrique chaque aubage séparément et on les soude ensemble pour former le secteur de distributeur. Le coût de
25 fabrication est alors plus élevé.

30 On résout ces problèmes conformément à l'invention, avec un procédé de réalisation d'orifices d'évacuation de fluide de refroidissement dans la paroi d'une pièce fabriquée par la technique de la fonderie à la cire perdue selon laquelle un modèle de la pièce est réalisé dans un moule à cire, et dont lesdits orifices comportent une première portion débouchant à la surface externe de la paroi. Ce procédé est caractérisé par le fait qu'il consiste à ménager dans le modèle en cire des cavités correspondant aux
35 premières portions des dits orifices.

40 De préférence on ménage dans le moule à cire des protubérances de forme complémentaire à celle desdites premières portions, de telle sorte que le modèle présente les dites cavités et que la pièce en sortie de fonderie comporte les dites premières portions préformées.

5 En réalisant cette portion d'orifice sur le modèle en cire de la pièce, de telle sorte qu'elle soit formée par fonderie, on peut optimiser sa forme aisément pour chaque émission sur le profil de la veine. On peut éviter la mise en œuvre lourde et coûteuse de la technique d'électroérosion et une telle méthode est compatible avec la fabrication de secteurs de distributeurs multi-pales de fonderie.

10 Le plus fréquemment, ladite première portion est de forme évasée mais le procédé de l'invention permet tout type de forme.

15 De préférence, les zones de raccordement entre deux portions de surface non coplanaires des protubérances ont un profil courbe de manière à éviter la formation d'arêtes vives. On dit qu'elles sont rayonnées. Le ou Les rayons de courbure des surfaces rayonnées est ou sont d'au moins 0,1 mm, de préférence 0,2 mm. La courbure de ces surfaces est éventuellement évolutive.

20 Conformément à une autre caractéristique, on usine dans la pièce venue de fonderie une seconde portion d'orifice mettant en communication le fond de la première portion avec la surface interne de la paroi. La section de cette seconde portion d'orifice est avantageusement calibrée de manière à doser le débit d'air. Cette portion est de forme tubulaire à section circulaire ou autre, notamment oblongue, en forme de fente par exemple.

Dans un mode de réalisation particulier, la présente invention concerne un procédé de fabrication selon la technique de la fonderie à la cire perdue avec formation d'un modèle dans un moule à cire, d'une pièce présentant une paroi et une surface externe de la paroi, le procédé comprenant la réalisation
5 d'orifices d'évacuation de fluide de refroidissement dans la paroi, comportant une première portion débouchant à la surface externe de la paroi, caractérisé par le fait qu'il consiste à ménager dans le modèle en cire des cavités correspondant aux premières portions des orifices de la pièce, puis à usiner dans la pièce venue de fonderie une seconde portion d'orifice, mettant en
10 communication le fond de la première portion d'orifice avec la surface interne de la paroi.

Selon une méthode préférée, l'usinage est effectué au moyen d'un faisceau laser mais d'autres moyens peuvent être mis en œuvre.

15 L'invention couvre également la pièce de turbomachine selon le procédé et comportant des orifices d'évacuation d'air de refroidissement dont les zones de raccordement des premières portions avec la paroi externe de la pièce sont rayonnées.

20 Dans un mode de réalisation particulier, la présente invention concerne une pièce de turbomachine obtenue selon le procédé et comportant des orifices d'évacuation d'air de refroidissement avec des éléments de paroi, dont les cavités présentent des flancs, un fond, des zones de raccordement entre les
25 flancs et le fond et des zones de raccordement entre les flancs et la surface externe de la paroi, les zones de raccordement des éléments de paroi entre eux étant rayonnées, avec un profil courbe.

30 On décrit maintenant l'invention plus en détail en relation avec un mode de réalisation non limitatif illustré sur les dessins annexés et sur lesquels

La figure 1 montre une aube mobile de turbine refroidie ;

La figure 2 montre une vue en coupe de la paroi au niveau d'un orifice d'évacuation d'air de refroidissement selon l'art antérieur ;

35 La figure 3 montre en coupe un modèle de pièce dans son moule à cire ;

Les figures 4 à 6 montrent les étapes de réalisation de trous évasés selon l'invention ;

Les figures 7 et 8 montrent des vues en perspective d'un orifice évasé selon l'invention.

5

Comme on le voit sur la figure 1, une aube mobile 1 comprend un pied 3, une plate-forme 5 et une pale 7. L'aube est montée par le pied dans un logement approprié sur la jante d'un disque de turbine. Lorsqu'elle est de type refroidi, l'aube est creuse et comprend des cavités agencées pour la circulation d'air de refroidissement. Une fraction de cet air est dirigée à travers la paroi de la pale par des orifices calibrés. Une partie 9 de ces orifices sont de forme simple, tubulaire. D'autres orifices 10 comportent une portion évasée de manière à diriger l'air le long de la paroi et permettre de former un film ou une pellicule de protection de cette dernière. Ces orifices 10 à portion évasée vers l'aval sont par exemple disposés le long du bord d'attaque de la pale sur la face extradados en 10a ou bien le long d'une ligne globalement radiale sur la face intrados de la pale en 10b. Un autre exemple de rangée d'orifices à portion évasée se trouve le long du bord de fuite sur la face intrados en 10c.

20

On a représenté sur la figure 2 une vue en coupe selon le plan II - II de la paroi 71 de la pale à travers un orifice 10. On distingue une première portion évasée 10E débouchant sur la surface externe de la paroi 71 et une portion tubulaire 10T. La section de cette portion 10T détermine le débit de l'air de refroidissement à travers l'orifice. Le jet d'air est étalé latéralement dans la partie évasée 10E, et forme une pellicule ensemble avec les autres jets adjacents le long de la paroi de la pale.

25

En raison de la complexité de sa géométrie et des contraintes thermomécaniques auxquelles elle doit résister, ce type de pièce est fabriqué par fonderie à la cire perdue. On rappelle ci-après cette technique connue.

30

On réalise tout d'abord un modèle en cire ou autre matériau équivalent qui comprend un noyau de fonderie figurant les cavités internes de l'aubage. Ce noyau est lui-même fabriqué séparément et a généralement une forme complexe en plusieurs noyaux élémentaires. On place ce noyau dans un moule à cire et on injecte la cire dans l'espace ménagé entre le noyau et la paroi interne du moule. On obtient le modèle incorporant le noyau ; il est la réplique de la pièce à fonder.

35

40

Un exemple de pièce, ici une aube de turbine, est représenté sur la figure 3. Le modèle 20 en cire incorpore un noyau comprenant plusieurs éléments de noyau 21a à 21d en matériau céramique. Le moule à cire 30 est ici
5 constitué de deux parties 30a et 30b avec chacune une paroi de moulage 30a' et 30b' correspondant à l'enveloppe de la pièce. Le moule de l'exemple représenté est de forme simple mais selon la complexité de la pièce, il peut comprendre de multiples éléments.

10 Ensuite, on extrait du moule 30 le modèle en cire 20 et on le trempe dans des barbotines constituées de suspensions de particules céramiques pour l'enrober de couches successives et confectionner un moule carapace. Après avoir durci le moule par une cuisson, on élimine la cire. On obtient
15 la pièce en coulant un métal en fusion qui vient occuper les vides entre la paroi intérieure du moule carapace et le noyau. Grâce à un germe ou un sélecteur approprié et un refroidissement contrôlé, le métal se solidifie selon une structure déterminée. Selon la nature de l'alliage et les propriétés attendues de la pièce résultant de la coulée, il peut s'agir de solidification
20 dirigée à structure colonnaire, de solidification dirigée à structure monocristalline ou de solidification équiaxe respectivement. Les deux premières familles de pièces concernent des superalliages pour pièces soumises à de fortes contraintes tant thermiques que mécaniques dans le turboréacteur, comme les aubes de turbine HP.

25 Selon la technique de l'art antérieur, on forme les trous évasés par usinage de la pièce venue de fonderie. L'orifice que l'on voit sur la figure 2 est obtenu par usinage EDM. On voit en particulier que la zone de raccordement entre la surface 71ext et le trou évasé 10E présente une arête 10E1 qu'il n'est pas possible d'éviter. Un usinage de cette partie conduirait
30 au mieux à la réalisation d'un chanfrein mais pas à un arrondi en raison en particulier de la faible dimension de ce type d'orifice. Les tolérances d'usinage ne permettraient pas un positionnement suffisamment précis de l'outil par rapport à la zone à usiner.

35 On propose selon l'invention de réaliser la dite première portion, évasée, des orifices directement sur le modèle en cire. De préférence le moule à cire dans lequel la cire est injectée présente l'empreinte des premières portions des orifices.

Sur la figure 4, on a représenté une vue en coupe au niveau de la surface interne 130a' du moule 130a et du modèle à travers une protubérance 132 de moulage d'une première portion conformément à l'invention. Les éléments de l'invention correspondant à ceux de l'art antérieur ont la même référence augmentée d'une centaine. La protubérance 132 a la forme de la première portion que l'on souhaite imprimer dans la paroi 120' du modèle 120 en cire. Afin de satisfaire aux contraintes du démoulage, les faces de la protubérance ne comprennent pas de partie formant un angle inférieur à un angle limite de démoulage par rapport à la direction de démoulage en cette zone, représentée par la flèche D. Lorsque le moule est constitué d'une pluralité d'éléments avec un insert spécifique pour la protubérance ou un groupe de protubérances, il suffit que l'angle soit défini par rapport à la direction de retrait de cet insert. L'emploi d'un insert présente l'avantage supplémentaire de faciliter la modification du profil des protubérances, par exemple en phase de développement de pièce. Il suffit de changer l'insert seul pour fabriquer une pièce avec le nouveau profil des ouvertures évasées.

La pièce 101 venue de fonderie présente dans sa paroi 171 une cavité 110E correspondant à la forme de la protubérance 132 que l'on a appliquée dans la paroi 120' du modèle en cire 120. Cette cavité 110E constitue la première portion de l'orifice que l'on souhaite creuser dans la paroi 120'. On termine la formation des orifices d'évacuation d'air de refroidissement en perçant le fond de la cavité 110E, par faisceau laser par exemple. Ce perçage forme un canal tubulaire 110T. La section de ce canal 11T est déterminée par le débit d'air souhaité et sa forme peut être avantageusement circulaire ou oblongue. Ces deux étapes sont illustrées par les figures 5 et 6.

Sur les figures 7 et 8, on voit une réalisation d'orifice 110 d'évacuation d'air de refroidissement qu'il est possible d'obtenir selon le procédé de l'invention dans une paroi 171 qu'il s'agit de refroidir par film d'air. Les différentes portions de surface sont représentées avec des segments de génératrices directrices pour en montrer le caractère tridimensionnel.

On voit la première portion 110E, de forme évasée, débouchant sur la surface externe 171ext. de la paroi 171. Une seconde portion 110T, tubulaire, est usinée dans le fond la première portion et débouche sur la surface interne 171int. de la paroi 171. La cavité 110E a un fond A, dont la forme vue de dessus, est sensiblement trapézoïdale. La cavité est tournée

- vers l'aval par rapport au sens d'écoulement des gaz. Ce fond est incliné entre la portion tubulaire 110T et le bord A1 de raccordement à la surface extérieure 171ext. de la paroi 171. Les flancs L1 et L2 de la cavité sont incurvés en forme de secteurs cylindriques L1A et L2A concave, ici à profil évolutif, le long de leur zone de raccordement avec le fond A. Les surfaces sont dites rayonnées. Le rayon de courbure de ces surfaces est avantageusement d'au moins 0,1 mm. et varie le long du profil. Les flancs L1 et L2 comprennent également des portions de surface incurvées L1S et L2S, à profil évolutif, en direction de la surface de la paroi 171ext. Le flanc B de la cavité situé transversalement entre les deux flancs latéraux L1 et L2 comprend aussi une partie rayonnée BS convexe de raccordement avec la surface extérieure 171ext. de la paroi 171, et des portions rayonnées concaves avec les flancs L1 et L2.
- Ces portions de surface rayonnées L1S, L2S et BS sont complémentaires des surfaces de raccordement des protubérances 132 avec la surface 130a' du moule à cire 130a dans lequel le modèle est moulé. Il suffit de conformer correctement les protubérances pour obtenir une pièce sans arête vive en ces endroits.
- Ces portions de raccordement rayonnées présentant un rayon de courbure, par exemple de 0,2 mm, avec un minimum de 0,1 mm. Elles limitent les contraintes thermiques et mécaniques dans ces zones et réduisent les occurrences d'amorce de crique. On améliore ainsi globalement la tenue mécanique de la pièce et sa durée de vie.
- Un autre avantage par rapport à l'usinage EDM est l'obtention de surfaces présentant une faible rugosité, favorable aérodynamiquement. Par exemple la rugosité Ra par EDM est typiquement de 4,5 μm . Obtenir une valeur plus faible est très onéreux. Par le procédé de fonderie on obtient aisément un état de surface plus fin ; Ra = 1,2 μm par exemple.
- On note que la ligne d'intersection de la zone tubulaire 110T avec le fond de la première portion 110 E n'est pas rayonnée dans la mesure où elle est obtenue par usinage.

Revendications

1. Procédé de fabrication selon la technique de la fonderie à la cire perdue avec
5 formation d'un modèle dans un moule à cire, d'une pièce présentant une paroi et une surface externe de la paroi, le procédé comprenant la réalisation d'orifices d'évacuation de fluide de refroidissement dans la paroi, comportant une première portion débouchant à la surface externe de la paroi, caractérisé par le fait qu'il consiste à ménager dans le modèle en cire des cavités correspondant
10 aux premières portions desdits orifices de la pièce, puis à usiner dans la pièce venue de fonderie une seconde portion d'orifice, mettant en communication le fond de la première portion d'orifice avec la surface interne de la paroi.
2. Procédé selon la revendication 1, selon lequel on ménage dans le moule à cire
15 des protubérances ayant une forme complémentaire à celle des dites premières portions, de telle sorte que le modèle présente lesdites cavités et que la pièce en sortie de fonderie comporte les dites premières portions des orifices préformées.
3. Procédé selon la revendication 2 dont les cavités correspondant aux dites
20 premières portions des orifices sont de forme évasée.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dont les cavités présentent des flancs, un fond, des zones de raccordement entre les flancs et le fond et des zones de raccordement entre les flancs et la surface externe de la
25 paroi, au moins une partie desdites zones de raccordement, ménagées sur les cavités correspondant aux dites premières portions des orifices étant rayonnées avec un profil courbe.
5. Procédé selon la revendication 2 dont les protubérances sont rayonnées, avec un
30 profil courbe.

6. Procédé selon la revendication 4 dont la zone de raccordement entre les flancs des cavités correspondant aux dites premières portions des orifices, avec la surface externe du modèle est rayonnée avec un profil courbe.
- 5 7. Procédé selon la revendication 4, 5 ou 6 dont le(s) rayon(s) de courbure des surfaces rayonnées est (sont) d'au moins 0,1 mm, le rayon de courbure le long du profil des surfaces rayonnées étant éventuellement évolutif.
- 10 8. Procédé selon la revendication 1 dont la seconde portion d'orifice est de forme tubulaire.
9. Procédé selon la revendication 8 selon lequel l'usinage est effectué au moyen d'un faisceau laser ou par EDM.
- 15 10. Pièce de turbomachine obtenue selon le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 9 comportant des orifices d'évacuation d'air de refroidissement avec des éléments de paroi, dont les cavités présentent des flancs, un fond, des zones de raccordement entre les flancs et le fond et des zones de raccordement entre les flancs et la surface externe de la paroi, les zones
20 de raccordement des éléments de paroi entre eux étant rayonnées, avec un profil courbe.
- 25 11. Pièce selon la revendication 10 dont les zones de raccordement des premières portions d'orifice avec la paroi externe de la pièce sont rayonnées, le(s) rayon(s) de courbure étant d'au moins 0,1 mm.

1 / 3

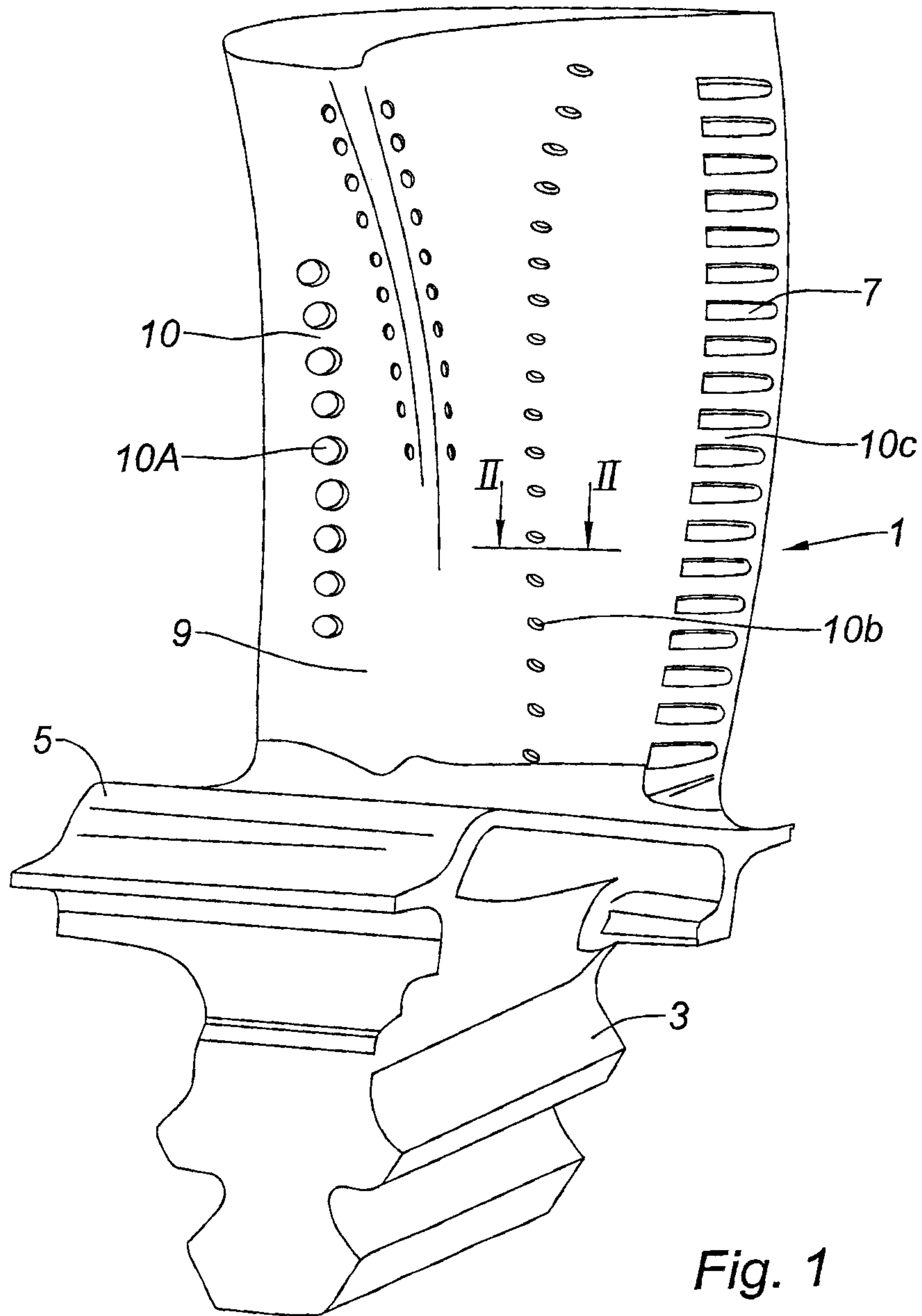
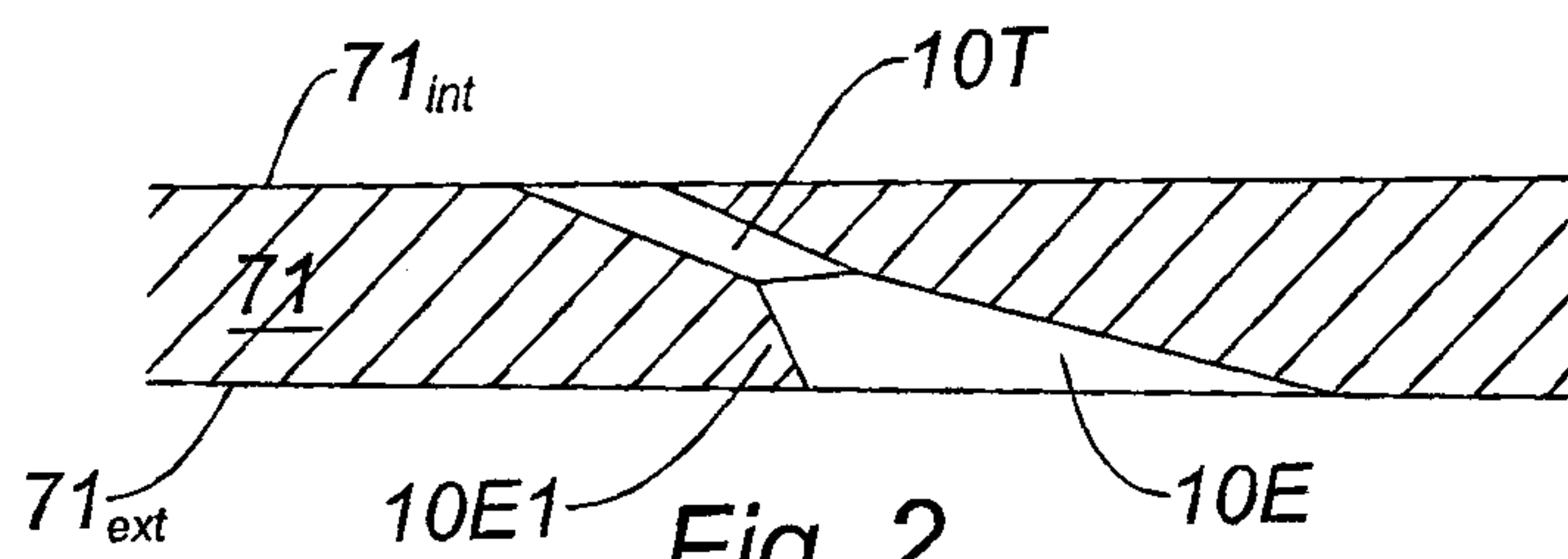
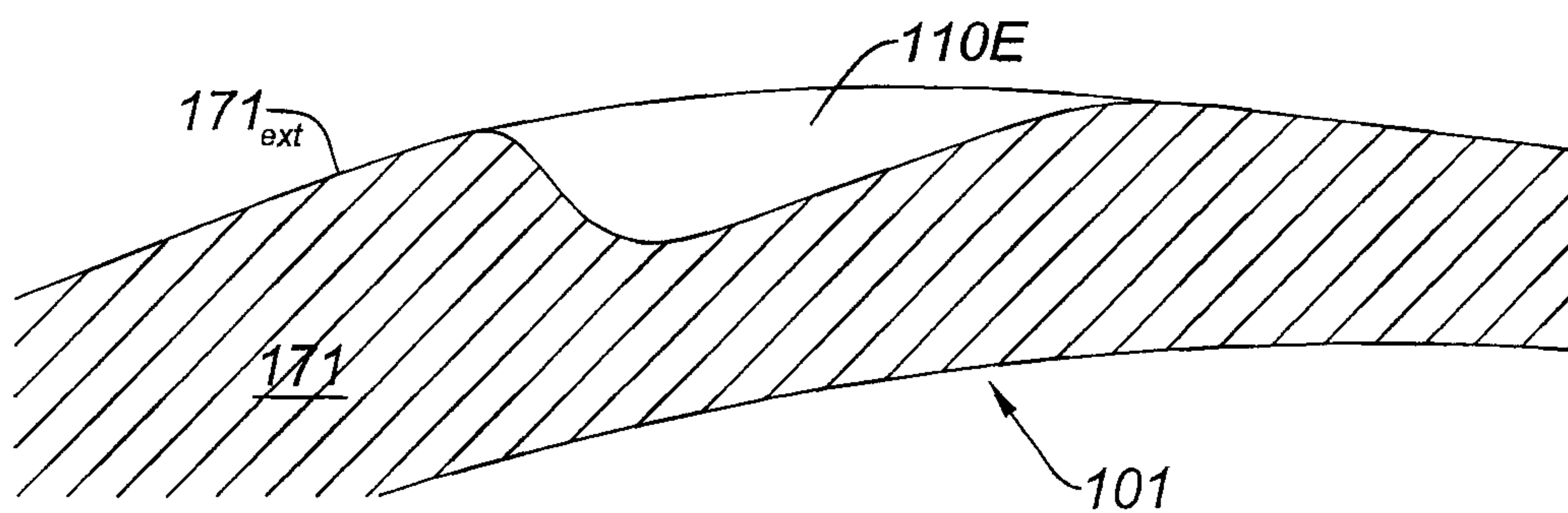
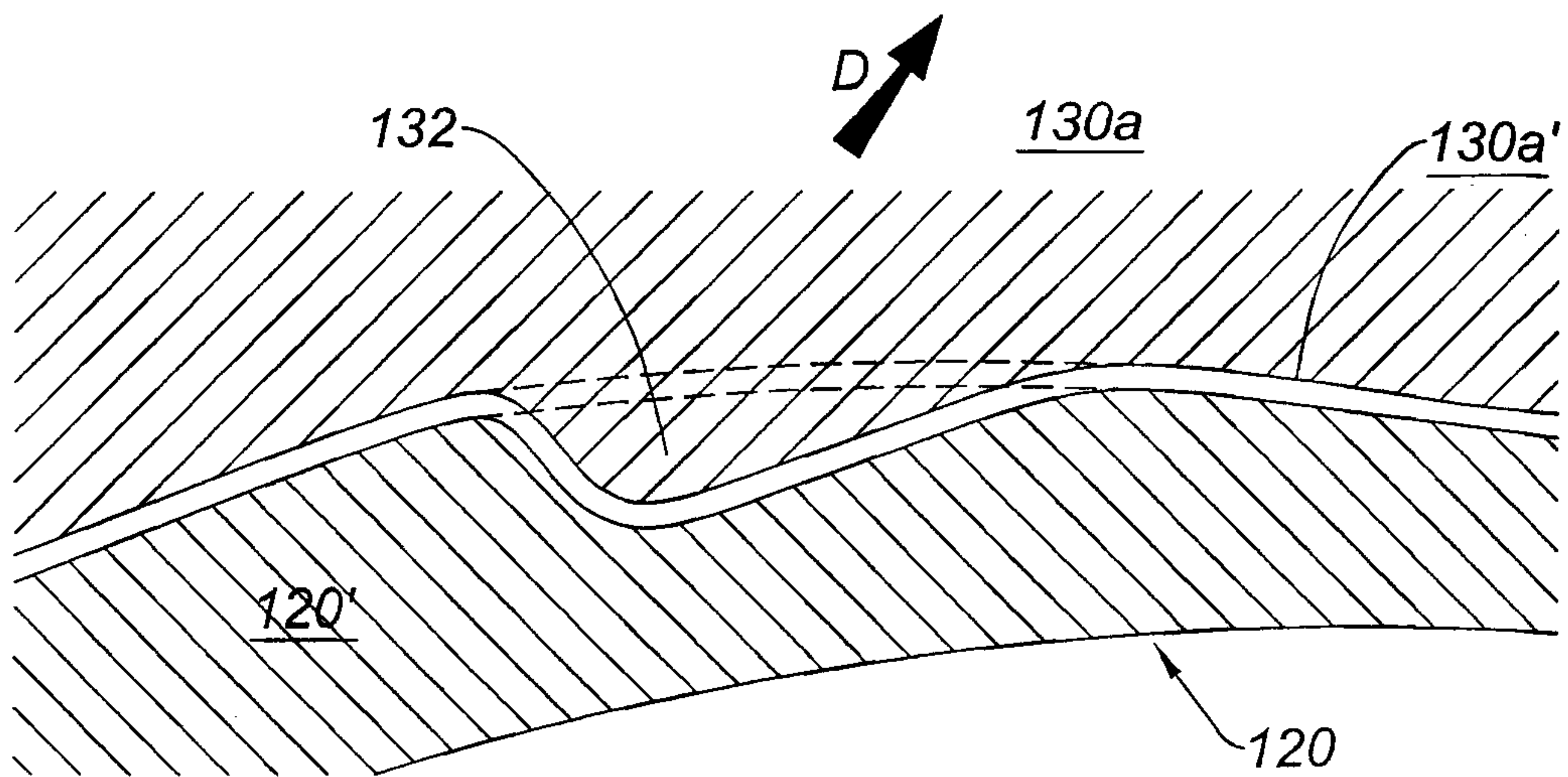
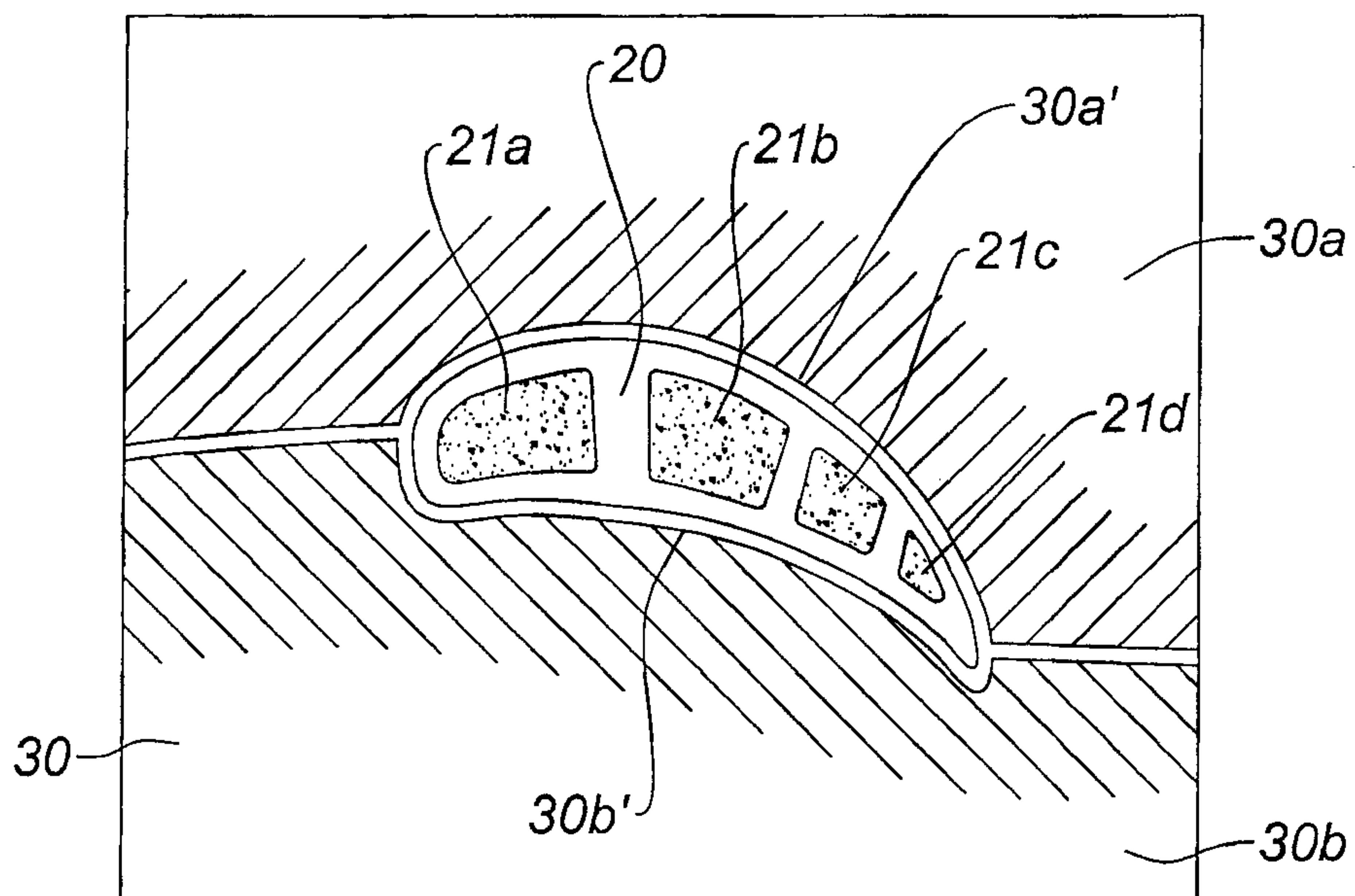


Fig. 1
ANTÉRIORITÉ



10E1 *Fig. 2*
ANTÉRIORITÉ

2 / 3



3 / 3

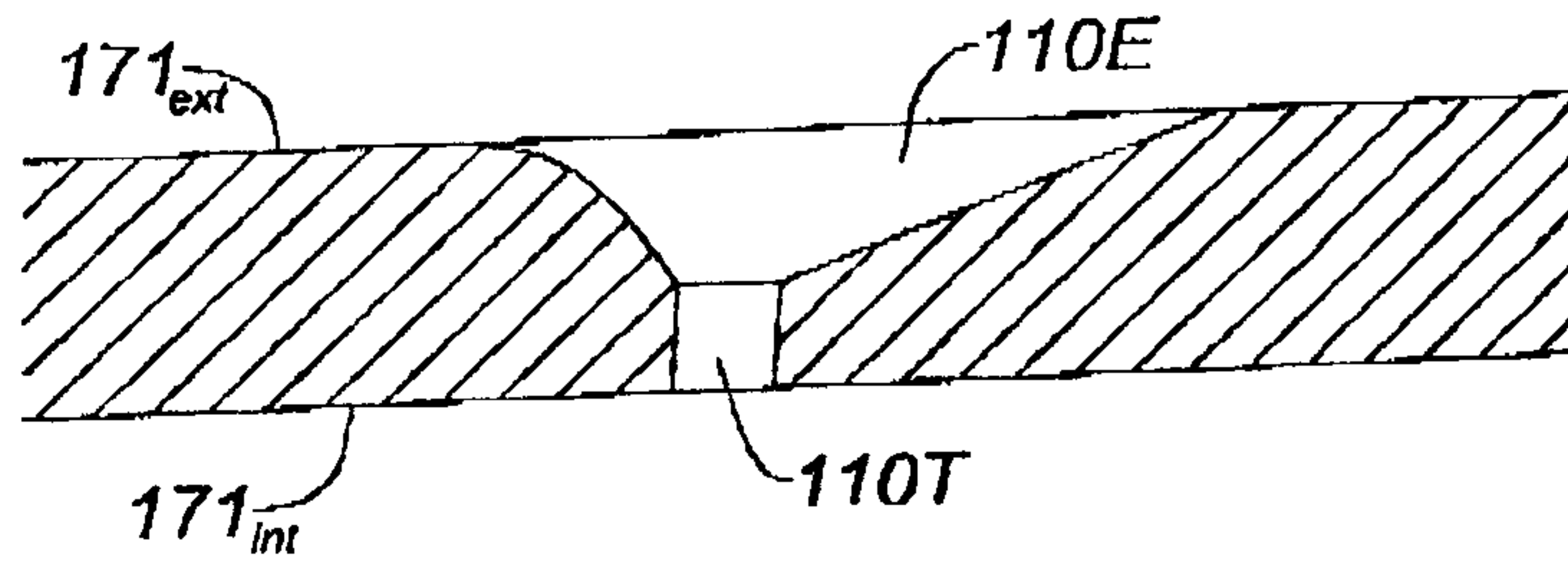


Fig. 6

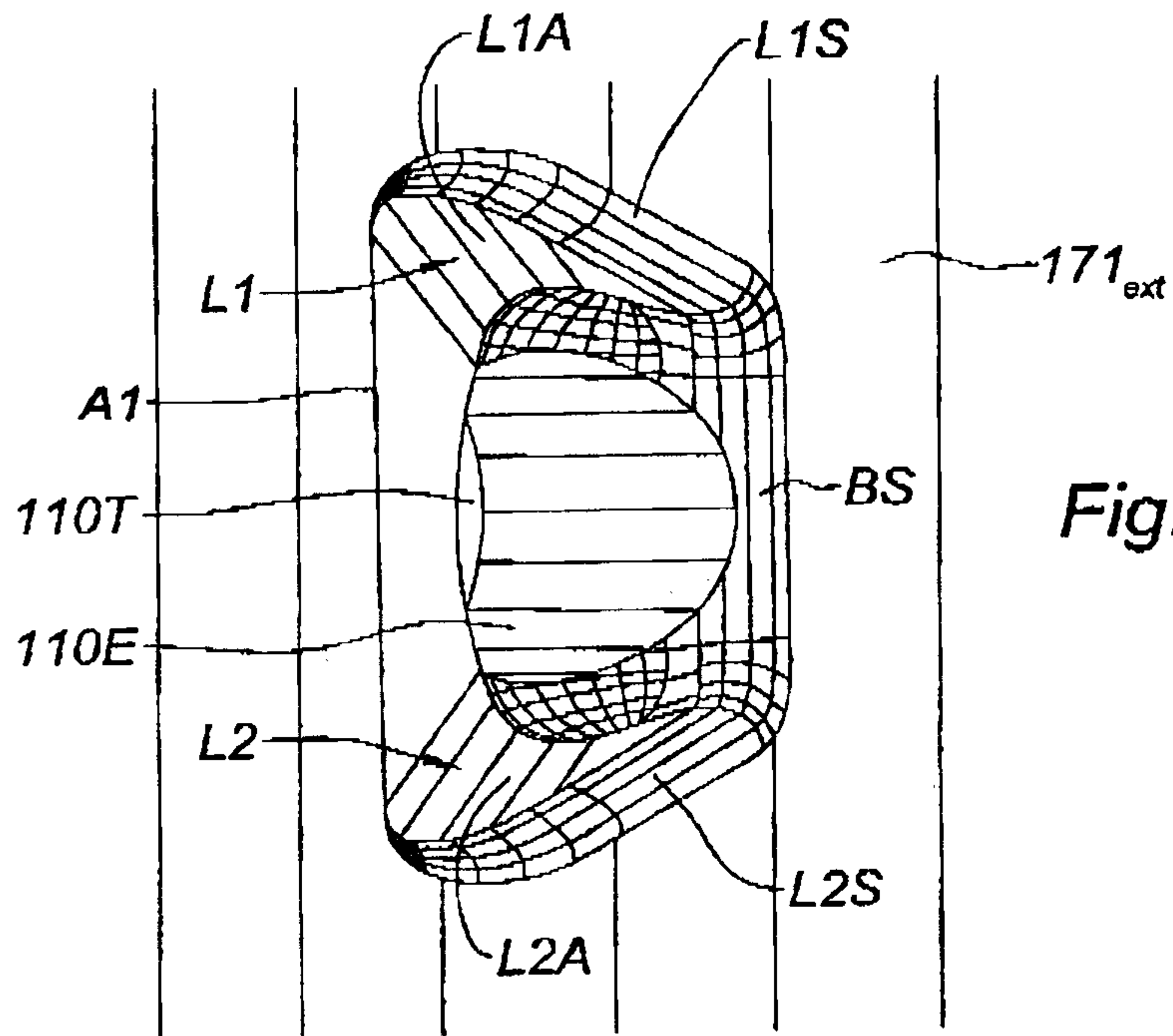


Fig. 7

Fig. 8

